

1) - 8 遠心载荷実験装置を利用した建物・杭基礎-地盤系の地震時 応答性状の把握【安全・安心】

Research on Seismic Behavior of Superstructure-Pile Foundation and Soil System using Centrifugal Loading Device

(研究開発期間 令和3年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

的場 萌子
Matoba Moeko

新井 洋
Arai Hiroshi

In current Japanese Recommendations for Design of Building Foundation (2019), it is suggested the estimation method of the ultimate strength and the plastic capacity for piles. On the other hand, it is considered that there are still some problems in the evaluation method of the dynamic soil-structure interaction effect on seismic eternal force for design. In this report, for the future consideration, centrifugal tests are conducted to clarify the seismic behavior of superstructure-pile foundation and soil system subjected to a significant earthquake.

【研究開発の目的及び経過】

近年、上部構造物だけでなく、大地震に対する基礎構造の二次設計の必要性が高まっている。2019年11月には日本建築学会にて建築基礎構造設計指針¹⁾が改定され、杭の塑性変形能力を考慮した二次設計まで対応できるよう、杭の保有性能の評価方法が明示されることとなった。一方で、設計用の地震外力に関する構造物と地盤の動的相互作用効果の評価手法については課題とされている。

本研究では、令和2年度に新設された建築研究所の遠心载荷実験装置を用いて、上部構造物・杭基礎-地盤系の縮小模型実験を行う。同装置の性能検証を行うとともに、構造物と地盤の動的相互作用の検討に必要な技術的知見を得ることを目的とする。

【研究開発の内容】

1) 遠心载荷実験装置の基本性能検証

新製したせん断土槽に1/50縮小模型地盤を設置しその応答特性を把握するとともに、Case 1, Case 2で用いる地震動(BCJ L2波)の調整を行うため、地盤のみの試験体 Case 0(後述の表 2)を実施する。地盤の製作方法には空中落下法を採用し、乾燥豊浦珪砂を堆積させることで地盤を製作する。本研究では模型地盤の地盤相対密度を $D_r=50\%$ 、層厚を $l_g=500\text{ mm}$ (実大スケールで25 m)とする。 D_r から平均せん断波速度を推定すると $V_s=165\text{ m/s}$ 程度となる²⁾。表 2の地盤の想定卓越周期 T_g は、1/4波長則に基づき推定 V_s から算定したものである。Case 0では、地中観測波(E+F波)の最大加速度が表 2の値となる入力波を作成していく。

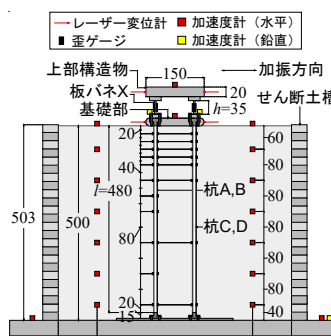
2) 上部構造物・杭基礎-地盤系の遠心载荷試験

遠心力载荷装置を用いて50G場の条件で上部構造

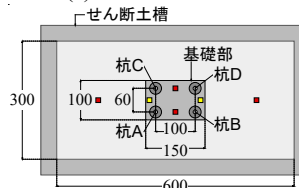
物・杭基礎-地盤系の振動台実験を行う。図1と写真1に実験試験体と計測位置を示す。表1に模型及び実大スケールでの試験体の諸元を示す。杭材にはA6063、板パネ材にはSUS304を用いる。以下、実大スケールで示す。

表 2に実験試験体パラメータを示す。パラメータは上部構造物の固有周期 T_s とする。表 2は基礎部を固定したときの値であり、板パネの長さ及び曲げ剛性、上部構造物の質量より算定している。入力波の加振パターンを①微小加振、②小地震、③損傷限界、④安全限界、⑤極大地震、⑥微小加振として、それぞれ最大加速度を50, 100, 200, 300, 400, 50 galに調整した波形を入力する。図2に入力波の一例として④の加速度時刻歴を示す。

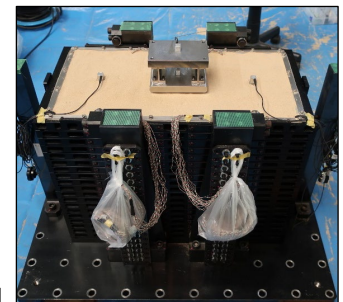
3) 上部構造物・杭基礎-地盤系の動的相互作用の検討



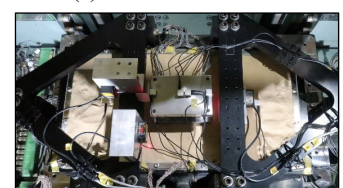
(a) 実験試験体側面



(b) 実験試験体平面



(a) 実験試験体全景



(b) 試験体平面(装置設置時)

図1 実験試験体及び計測位置
(模型スケール)

写真1 上部構造物・杭基礎-
地盤系の縮小模型試験体

表1 試験体諸元

	模型スケール	実大スケール
上部構造物重量 m_1g [N]	23.1	2.88×10^6
板バネ厚さ [mm]	4	200
基礎部重量 m_2g [N]	23.1	2.88×10^6
杭径 D [mm]	10	500
杭板厚 t [mm]	0.8	40
杭長 l_{pl} [mm]	480	24000

表2 試験体パラメータ (実大スケール値)

試験体	地盤 相対密度 Dr [%]	想定地盤 卓越周期 T_g [s]	想定上部構造 物固有周期 T_s [s]	T_s/T_g [-]	入力波 最大加速度 a [gal]
Case 0			-	-	
Case 1	50	0.61	0.09	0.15	BCJ波 50, 100, 200, 300, 400, 50
Case 2			0.25	0.41	

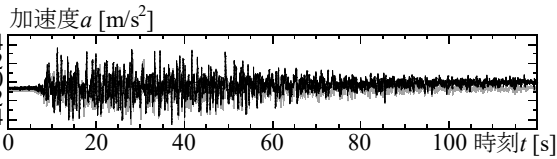


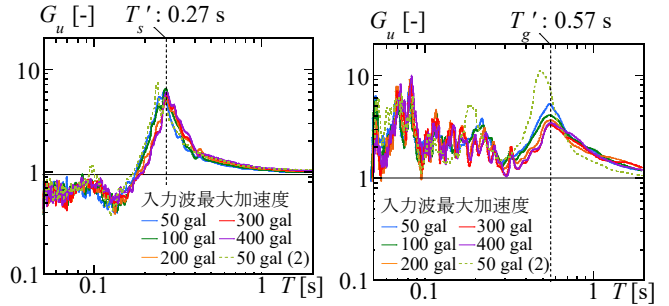
図2 振動台で計測された入力波時刻歴 (BCJ L2 波)

2)の実験結果を踏まえ、建築基礎構造設計指針の地震外力設計手法により荷重低減係数を評価する。遠心載荷実験装置を用いた上部構造物・杭基礎—地盤系の動的相互作用効果に関する研究の方向性について検討する。

【研究開発の結果】

図3に加速度フーリエ振幅スペクトル比と上部構造物の実測固有周期 T_s' 、地盤実測卓越周期 T_g' の比較を示す。図3の(a)は基礎部水平加速度に対する上部構造物水平加速度、(b)は地盤下端 (G.L. -24 m) で計測された水平加速度、すなわち振動台で計測された入力地震動に対する地表面水平加速度のフーリエ振幅スペクトル比である。

Case 1 の各入力波加振時における上部構造物の実測固有周期は $T_s'=0.27$ s、地盤の卓越周期は $T_g'=0.57$ s 付近にある。上部構造物の実測固有周期 ($T_s'=0.27$ s) は、表2に示した想定上部構造物固有周期 ($T_s=0.09$ s) よりも長くなっている。板バネと上部構造物模型間の接合部固定



(a) 上部構造物/基礎部 (b) 地表面/地盤下端(G.L. -24 m)
図3 Case 1 の各フーリエ振幅スペクトル比

度の影響と推測される。一方、地盤の卓越周期 ($T_g'=0.57$ s) は、表2に示した値 ($T_g=0.61$ s) とほぼ等しくなっており、想定値を概ね再現できているといえる。

図4に、杭基礎の2次設計時の地震外力の組み合わせ方法 (荷重低減係数) と遠心載荷実験結果の比較を示す。上部構造物および基礎部慣性力の低減係数 β_1, β_2 は、設計指針 α_1 の値と同調的であるが、地盤変位の低減係数 α_1 の傾向は異なっていることが分かる。本検討における地盤変位は、地表面と振動台の水平加速度応答を二階積分して水平変位を求め、その相対変位として定義しており、算定手法の妥当性について検討する必要があると考えられる。後継課題ではレーザー変位計を利用し、地盤変位を直接計測することで、本課題で得られた結果との対応を確認する予定である。

また本課題では、固有周期比 $T_b/T_g < 1$ となる場合のみを対象としたが、今後は長周期構造物の場合を検討するため、後継課題では $T_b/T_g > 1$ となる試験体を追加する。周期比の異なる試験体の応答性状の違いから、上部構造物・杭基礎—地盤系の動的相互作用による定性的な影響を明らかにしていく。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2019
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，2002

遠心載荷実験結果 ● Case 1 ● Case 2 建築基礎構造設計指針¹⁾ ○ 2次元FEM ◇ 遠心載荷実験 △ Penzien model

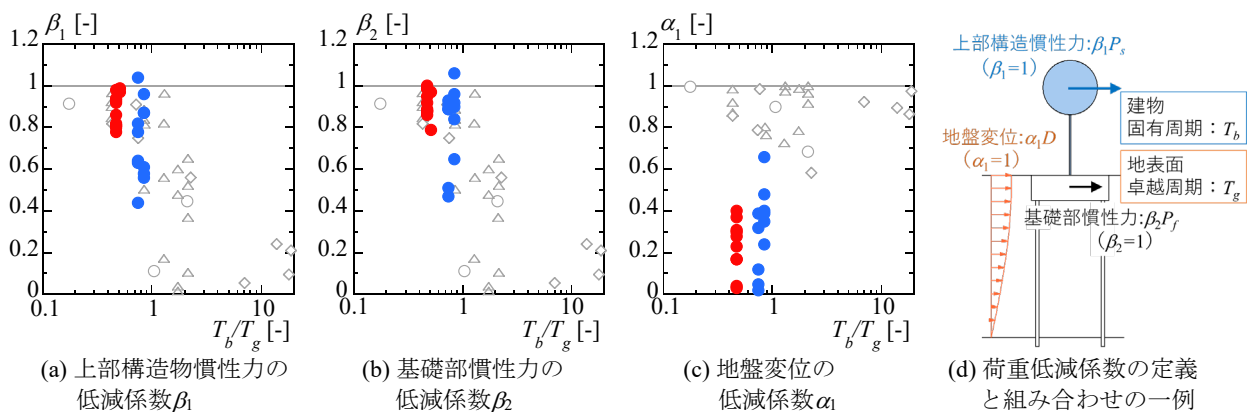


図4 地震外力の重ね合わせの手法¹⁾による荷重低減係数と本実験結果の比較